DRAFT REGULATORY GUIDE

Measuring Airborne Radon Progeny at Uranium Mines and Mills C-004 (Rev. 1)

Issued for public comments by the Canadian Nuclear Safety Commission February 2001

REGULATORY DOCUMENTS

The Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) operates within a legal framework that includes law and supporting regulatory documents. Law includes such legally enforceable instruments as acts, regulations, licences and orders. Regulatory documents such as policies, standards, guides, notices, procedures and information documents support and provide further information on these legally enforceable instruments. Together, law and regulatory documents form the framework for the regulatory activities of the CNSC.

The main classes of regulatory documents developed by the CNSC are:

Regulatory Policy: a document that describes the philosophy, principles and fundamental factors used by the CNSC in its regulatory program.

Regulatory Standard: a document that is suitable for use in compliance assessment and describes rules, characteristics or practices which the CNSC accepts as meeting the regulatory requirements.

Regulatory Guide: a document that provides guidance or describes characteristics or practices that the CNSC recommends for meeting regulatory requirements or improving administrative effectiveness.

Regulatory Notice: a document that provides case-specific guidance or information to alert licensees and others about significant health, safety or compliance issues that should be acted upon in a timely manner.

Regulatory Procedure: a document that describes work processes that the CNSC follows to administer the regulatory requirements for which it is responsible.

Document types such as regulatory policies, standards, guides, notices and procedures do not create legally enforceable requirements. They support regulatory requirements found in regulations, licences and other legally enforceable instruments. However, where appropriate, a regulatory document may be made into a legally enforceable requirement by incorporation in a CNSC regulation, a licence or other legally enforceable instrument made pursuant to the *Nuclear Safety and Control Act*.

Measuring Airborne Radon Progeny at Uranium Mines and Mills

C-004 (Rev.1)

February 2001

About this Document

This guide describes a method that CNSC licensees may use to assess concentrations of airborne radon progeny at uranium mines and mills in Canada.

Comments

The CNSC invites interested persons to assist in the further development of this document by commenting in writing on its content and potential usefulness. Please respond by April 30, 2001, referencing file 1-8-8-4. Direct your comments and any related enquiries to the addresses below.

The CNSC will study these comments to determine how best to finalize this document.

Unless responders request otherwise, the CNSC will place a copy of their comments in its library in Ottawa.

Document availability

The draft regulatory guide C-004 (Rev. 1) may be viewed on the CNSC website at *www.nuclearsafety.gc.ca*. Alternately, an English or French paper copy may be ordered from:

Operations Assistant
Corporate Documents Section
Canadian Nuclear Safety Commission
P.O. Box 1046, Station B
280 Slater Street
Ottawa, Ontario
K1P 5S9

Telephone: (613) 996-9505
Fax: (613) 995-5086
E-mail: reg@cnsc-ccsn.gc.ca

101-02909/

Acronyms and Abbreviations

CNSC	Canadian Nuclear Safety Commission
CPM	counts per minute
NSC Act	*Nuclear Safety and Control Act*
WL	working level

Contents

About this Document i

Comments i

Document availability i

Acronyms and Abbreviations ii

Purpose 1

Scope 1

1 Background 1

2 Overview of Method 2

3 Selecting Equipment 3

4 Preparing for Sampling 3

5 Selecting Sampling Locations 4

6 Collecting Samples 5

7 Counting Samples and Computing Results 6

Glossary 8

References 9

Appendix A: Using Chi-Square tests to evaluate the performance of alpha counters 11

Appendix B: A method to determine correction factors to compensate for the absorption of radon progeny on sample filters 13

Appendix C: Dependencies among radon-progeny sampling parameters, working level concentrations and the precision of alpha-counting results 14

Appendix D: Determining Kusnetz correction factors for use in calculations of radon-progeny concentrations 16

Purpose

This guide is intended to help users measure and compute instantaneous concentrations of airborne radon progeny at uranium mines and mills.

Scope

This document describes a method tnat Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) inspectors use to assess concentrations of airborne radon progeny at Canadian uranium mines and mills. This method, or methods of comparable accuracy, may be used by uranium mine or mill licensees.

1 Background

Radon-222 is a chemically inert element, a radioactive gaseous by-product of other naturally occurring radioactive elements. Radon gas is released into the atmosphere as a result of both natural processes and human activities. It continuously undergoes spontaneous radioactive decay. Four solid, short-lived radionuclides — polonium-218, lead-214, bismuth-214 and polonium-214 — form in sequence as radon-222 decays to create lead-210. These four short-lived products are the "radon progeny" referred to in this guide.

To protect workers and to comply with federal requirements, uranium mine and mill licensees monitor and record the exposure of their workers to radiation hazards, including radon progeny. Uranium mines and mills also monitor concentrations of radon and its progeny in support of engineering design and workplace planning.

Alpha, beta and gamma radiation are emitted during the decay of radon gas to create lead-210. Of these forms of radiation, alpha particles typically pose the most significant radiation hazard to workers because, over time, the inhalation of air containing elevated concentrations of alpha-emitting radon progeny may increase the incidence of lung cancers in humans.

Under natural conditions, radon gas and its progeny are typically encountered in relatively low concentrations. However, higher concentrations can occur under special conditions, including those associated with uranium mining and processing activities.

Although all uranium mines and mills encounter radon and its progeny during their operations, the significance of these elements as potential radiation hazards in a specific situation will depend upon case-specific factors. Examples of such factors include source characteristics, geologic and climatic factors, production technology and methods, plant and mechanical designs, air-exchange rates, work processes, and personnel protection provisions.

With or without special control measures, radon and radon-progeny concentrations in uranium mine or mill workplaces can vary significantly over time and space. Typically, uranium mines and mills maintain radon and radon-progeny concentrations at safe levels by ensuring that their workplaces are adequately ventilated. This may involve exhausting air that contains significantly elevated concentrations of radon and its progeny, or introducing outside air that contains lower or background concentrations of radiation.

2 Overview of Method

Uranium mines and mills in Canada use various methods to determine instantaneous concentrations of airborne radon progeny (References 2, 5, 9, 10, 11, 13). The sample collection, counting and computational procedures that are used by CNSC inspectors rely on the modified Kusnetz method.

To accurately measure the airborne radon progeny in a specific atmosphere, one must first sample, on either an instantaneous basis or a continuous basis, a representative volume of air. Instantaneous samples are, typically, those collected over short, discrete intervals of a few minutes. Continuous samples are those collected over much longer time intervals, typically hours or days.

The measurement approach described in this guide involves:

- filtering a representative volume of air to collect a sample of airborne radon progeny,
- measuring the alpha emissions that occur during radioactive decay of the collected progeny, and
- using observed, measured and known data, and established formulae, to estimate the atmospheric concentration of radon progeny at the time of sampling.

Initially, a sample of airborne radon progeny is collected by using a portable air pump to draw air through a low-porosity filter. The radon progeny that are present in the air attach to the inlet face of the filter used. These progeny subsequently decay, emitting alpha particles and other forms of radiation in the process. During this decay, the emissions of alpha particles are detected and counted, using an instrument (an alpha counter) designed and manufactured for that purpose.

The counting results obtained are then used along with other pertinent data and observations to estimate the concentration, in units called working levels (WLs) of airborne radon progeny originally present in the air sampled. A working level "means the concentration of radon progeny in 1 m^3 of air that has a potential alpha energy of 2.08×10^{-5} J". (CNSC Radiation Protection Regulations, subsection 1(1)). The formula for estimating the concentration of radon progeny in a sample of air, in working levels, is provided in subsection 7(e) of this guide.

The concentration of radon progeny, expressed in working levels, is calculated from a formula that mathematically relates alpha disintegrations per working level over the interval between the end of sampling and the middle of alpha counting, the volume of air sampled, the alpha activity of collected and resultant radon progeny, the efficiency and radioactive background of the alpha counter, and the absorption characteristics of the filter used during sampling.

3 Selecting Equipment

The equipment and supplies typically required to determine radon-progeny concentrations in accordance with the method described in section 2 include:

- a portable, battery-powered, constant-flow air pump rated at 0.001-5 L/min
- hoses and fittings of 0.25-in inside diameter for use with the air pump
- cellulose-ester or glass-fibre filters of 0.8 micron porosity and 25 mm diameter
- open-faced filter holders suitable for use with the pump, lines and filters selected
- a bubble tube, or a flow meter that is accurate to within ±5%
- an alpha counter comprised of a radiation detector and related electronics
- an americium-241 calibration source that is certified accurate to within ±1% and mounted on a stainless steel disc of area equal to that of the filter paper to be used for sampling
- an accurate timing device, such as a stop watch or digital wrist watch
- tweezers
- a battery-powered calculator
- recording supplies, such as a log or record book, pencils and pens

4 Preparing for Sampling

To prepare for sample collection and analysis, follow the steps below:

(a) Assemble the equipment and supplies listed in section 3 of this guide.

(b) Perform the following checks on the sample pump:

- Check the pump battery to verify that it is charged.
- Using the flow meter or bubble tube, measure the rate of air flow through the assembly — air pump, hose and filter holder containing an unexposed filter — that is to be used to collect samples of radon progeny. Follow the relevant manufacturer's instructions provided with the flow meter, bubble tube and air pump. Note the reading registered on the flow-rate indicator of the air pump. If the flow rate measured by the calibrated flow meter or bubble tube is different than the air pump reading, adjust the calibration of the pump following the manufacturer's instructions. Record the equipment number or other identifying characteristics of the air pump, the date and details of its calibration, and its measured flow rate in litres per minutes, as F.

(c) Perform the following checks on the alpha counter, immediately before and after daily use:

- Perform any relevant checks of the alpha counter recommended by the manufacturer. Include a battery check.
- Determine the alpha counter background by measuring the alpha activity of an unexposed filter. If the measured activity exceeds 5 counts per minute (CPM), suspend use of the equipment until it has been cleaned or repaired. Record the background count rate.
- Determine the efficiency of the alpha counter. To do this, first use the counter to count the alpha activity of an americium-241 source that is calibrated at least once each 12 months against a precision laboratory counter. (When handling the americium source, do not touch its radioactive face.) Then divide the "mean measured" alpha activity of the calibrated source (in CPM) by its actual alpha activity in disintegrations per minute to obtain an efficiency factor for the alpha counter.
- If the counter's efficiency factor, as calculated above, lies between 0.35 and 0.50, it is performing acceptably. If the counter's efficiency factor is outside these limits, discontinue using the counter until it has been satisfactorily repaired.
- To determine if the alpha counter is performing consistently, conduct a Chi-Square test on a set of 20 successive measurements, following the method described in Appendix A of this guide. Compare the variability of the 20 successive measurements against the variability to be expected as a feature of radioactive decay. If the counter repeatedly fails the Chi-Square test, discontinue its use until it has been satisfactorily repaired.
- When counting radon-progeny samples of high concentration, or when counting radon-progeny samples that have been collected under dusty conditions, check the background of the alpha counter more frequently to determine whether it is becoming contaminated.

5 Selecting Sampling Locations

Select air-sampling locations that accurately reflect the conditions to be assessed. Avoid non-representative or adverse sampling conditions such as areas of turbulent air flow — duct exhausts, junctures or intersections of ventilation passageways, door or window openings.

When collecting radon-progeny samples for purposes of estimating or confirming radiation doses to workers, sample the actual atmospheres breathed by the respective workers. Where possible, sample at the individuals' workstations over a representative period. Alternately, if concentrations of airborne radon progeny are similar over a large area, it may suffice to collect representative samples while moving through the area, or at appropriate points within the area. The latter

approach may be particularly appropriate within uranium processing plants and in travel-ways and/or similar areas of mines.

Samples that are intended to aid in the planning, development and evaluation of engineering works and production processes must be representative of the conditions that they are intended to assess. Accordingly, these samples should be collected at appropriate locations and times. For example, to determine the impact of modifications to mine or building ventilation systems, or to guide the installation of such systems, it may be necessary to collect several air samples at multiple locations, before, after or during the changes.

6 Collecting Samples

(a) Record the previously determined flow rate, F, of the air pump in litres per minute; as well as the previously determined efficiency factor, E, and the previously determined background, in CPM, of the counter that is to be used to detect and record alpha emissions.

(b) Assemble the sampling equipment in the correct configuration for use. Mount an unexposed filter in the filter holder, handling the filter by its edge without touching either face. Connect this filter holder securely to the inlet hose of the air pump.

(c) Record the sampling location, the date and the identification number of the holder that contains the filter paper to be used to collect the sample.

(d) If a significant quantity of airborne particulate or moisture is likely to be present during sampling, ensure that the inlet of the sample filter holder faces slightly downwards in preparation for sampling. Maintain this position during sampling to help prevent dust or moisture from depositing on the inlet face of the sample filter, and possibly clogging or damaging it.

(e) Start the air pump and timing device. Record the time of day at the beginning of air sampling. Try to collect the air sample over a timed interval of exactly 5 minutes. If you operate the air pump for more than a 5-minute-and-3-second sampling interval, extend the sample collection and pump operating time to 6 minutes. Observe the flow rate, F, during sampling and suspend air sampling if the pump flow rate decreases by 20% or more. Periodically check the sampling equipment to ensure that the filter is not blocked or clogged, and that the pump hoses remain connected and free of constrictions or obstructions. Record the time of day when air sampling is completed. Record the actual duration of the sampling interval in minutes as t_s.

(f) Once collection of a sample of airborne radon progeny has been completed, turn off the pump and detach the filter holder that contains the exposed filter. Securely store the exposed filter assembly in a protective container. Do not touch or disturb the face of the exposed filter during handling. If filter holders containing unexposed filters and filter holders containing exposed filters are to be stored in the same container, place the

assemblies containing unexposed filters in the case with their inlet faces up. After sampling, return the filter holder assemblies to the carrying case with their exposed (inlet) faces down.

(g) Repeat steps (a) to (f) to collect additional samples.

7 Counting Samples and Computing Results

To determine the concentrations of radon progeny present in sampled air, count the alpha emissions from the exposed filters and compute the results, in accordance with the following steps:

(a) Transfer the exposed filter from its holder to the fixed or removable sample holder of the alpha counter. Handle the filter by its edge, using tweezers. Ensure that the exposed surface of the filter faces the scintillant of the counter, and that the counter's photo-multiplier tube is not exposed to any more light than necessary.

(b) Initiate and complete the counting of alpha emissions from the exposed filter within strict time limits. Begin this counting not less than 40 minutes after the end of sampling, and ensure that the midpoint of the selected counting interval is reached not later than 90 minutes after collection of the sample.

Select an appropriate duration for the counting interval. The counting interval is the length of time over which the alpha emissions from an exposed filter are to be measured.

Although 5-minute counting intervals are typical, the selection of an appropriate interval may require that special case-specific considerations be taken into account. These considerations could include the concentration of radon progeny likely to be present in the air sampled, the volume of air sampled, and the counting precision desired. To select appropriate counting intervals, consult Appendix C, "Dependencies among radon-progeny sampling parameters, working level concentrations and the precision of alpha-counting results", which illustrates key relationships.

Operate the counter in accordance with the manufacturer's instructions. Observe and record the time of day at the start and end of the alpha-counting interval.

(c) Note and record the alpha-counting interval in minutes as t_c and the net number of counts — total number of counts minus the number of counts due to instrument background — obtained during this interval as C. Calculate the elapsed time from the completion of air sampling to the midpoint of the selected alpha-counting interval for the active filter, and record it as t_k.

(d) Use Appendix D or other references to determine the Kusnetz factor, K, that corresponds to t_k, or calculate K from the appropriate equation of the following set:

$$K = 230 - 2t_k \text{ when } 40 \bullet t_k \bullet 70$$

or

$$K = 195 - 1.5t_k \text{ when } 70 \bullet t_k \bullet 90$$

(e) Calculate the concentration of airborne radon progeny at the time of sample collection using the following equation:

$$WL \bullet \frac{C(1 \bullet S)}{Ft_s t_c KE}$$

where:

- WL is the concentration in working levels;
- C is the total number of alpha counts recorded over the interval of t_c minutes, minus the background alpha counts over interval t_c;
- S is any correction factor, as per Appendix B, that is necessary in order to compensate for the absorption of radon progeny on the sample filter;
- F is the air sampling flow rate in litres per minute;
- t_s is the air sampling interval in minutes;
- t_c, is the interval, in minutes, over which alpha emissions from the sample are counted;
- K is the Kusnetz factor in disintegrations per minute per litre of air per working level; and
- E is the efficiency factor for the alpha counter.

Glossary

alpha counter	an instrument designed and manufactured for the purpose of detecting and counting alpha-particle emissions
binomial distribution	referred to in Appendix A; a frequency distribution of the possible number of successful outcomes in a given number of trials in each of which there is the same probability of success
Chi-Square test	described in Appendix A; an operational check of the counting equipment
modified Kusnetz method	a method of determining and expressing atmospheric concentrations of radon progeny in terms of latent alpha energy; requires the use of an electronic scaler to measure the emission of alpha particles
Poisson distribution	a discrete frequency distribution which gives the probability of events occurring in a fixed time; named after French mathematician, S.D. Poisson
radon progeny	for purposes of this guide, four solid, short-lived radionuclides — polonium-218, lead-214, bismuth-214 and polonium-214, which form in sequence as radon-222 decays to create lead-210
working level (WL)	the concentration of radon progeny in 1 m^3 of air that has a potential alpha energy of 2.08×10^{-5} J

References

1. Beckman, R.T. "Calibration Procedures for Radon and Radon Daughter Measurement Equipment." *U.S. Department of the Interior, Informational Report 1005*, Washington, DC: 1975.

2. American National Standards Institute Inc. "Radiation Protection in Uranium Mines." N13.8, New York: 1973.

3. "Code of Practice on Radiation Protection in the Mining and Milling of Uranium Ores." Commonwealth Department of Health, Canberra, Australia: 1975.

4. Knoll, Glenn F. *Radiation Detection and Measurement.* New York: John Wiley and Sons, 1989.

5. Kusnetz, H.L. "Radon Daughters in Mine Atmospheres — A Field Method for Determining Concentrations." *Industrial Hygiene Quarterly* (March 1956). Alexandria, VA: p. 85.

6. National Council on Radiation Protection and Measurements, "Measurement of Radon and Radon Daughters in Air." *NCRP Report* No. 97. Bethesda, MD: November 15, 1988.

7. Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. "Metrology and Monitoring of Radon, Thoron and their Daughter Products" Paris: 1985.

8. International Atomic Energy Agency. "Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores" *International Atomic Energy Agency Safety Series* No. 95. Vienna: 1989.

9. Rolle, R. "Improved Radon Daughter Monitoring Procedure." *American Industrial Hygiene Association Journal* (March/April 1969). Alexandria, VA: American Industrial Hygiene Association, p. 153.

10. Rolle, R. "Rapid Working Level Monitoring." *Health Physics,* Vol. 22 (March 1972). New York: Pergamon Press, p. 233.

11. Rolle, R. "Determination of Radon Daughters on Filters by Simple Liquid Scintillation Technique." *American Industrial Hygiene Association Journal* (November/December 1970). Alexandria, VA: American Industrial Hygiene Association, p. 718.

12. Sills, Jed M. "How to Use the Chi-Square Test to Evaluate Radioactive Counting Data." *HPS Newsletter* (August 1998). McLean, VA: Health Physics Society.

13. Thomas, J.W. "Modification of the Tsivoglou Method for Radon Daughters in Air." *Health Physics*, Vol. 19 (November 1970). New York: Pergamon Press, p. 691.

14. International Atomic Energy Agency, "Manual on Radiological Safety in Uranium and Thorium Mines and Mills." *International Atomic Energy Agency Safety Series No. 43*. Vienna: 1976.

15. Rock, R.L., R.W. Dalzell and E.J. Harris. "Controlling Employee Exposure to Alpha Radiation in Underground Uranium Mines." Washington, DC: *U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines,* Vol. 2, 1971.

16. Loysen, P. "Errors in Measurement of Working Level." *Health Physics*, Vol. 16 (May 1969). New York: Pergamon Press, p. 629.

17. McGeath, J.D. *How to Use Statistics*. San Francisco: Canfield Press, 1975.

Appendix A: Using Chi-Square tests to evaluate the performance of alpha counters

Background

For the long-lived standards that are typically used to test whether emission counters are operating correctly, the number of transformations that occur is quite small relative to the number of radioactive atoms that are present in the standard.

Statistically, when the probability of an event, such as radioactive decay by alpha emission of a long-lived standard that is used to test alpha counter operation, is quite small (very much less than 1), the binomial distribution approaches the Poisson distribution.

By taking a series of counts of the number of alpha emissions from a radioactive standard, one can compare the variation in counting results to that predicted for situations where the probability over time behaves similarly to what would be predicted by a Poisson distribution.

In the application described below, the Chi-Square test is a method that compares the variability of "successive counts" obtained with an alpha counter to the variability in alpha counts that is predicted by a Poisson distribution. The object of the comparison is to identify any inconsistencies in the respective variability that would not be consistent with the random nature of radioactive decay. If the results obtained with a counter for a series of counts from a given radioactive sample (under controlled conditions) are too consistent (demonstrate little variability), then it is likely that the counter is not performing properly. Similarly, if the observed variability in results is excessive, then the counter system is also likely to be performing incorrectly.

Method

To check the performance of an electronic counter with the Chi-Square test, do the following:

(a) Using the counter to be tested, count the alpha activity of an americium-241 source of known decay rate. Make 20 separate counts, each of one-minute duration. Note and record the total number of counts for each of the 20 measurements.

(b) To calculate the Chi-Square for the above:

- Sum the squares of the differences between the observed count rates for the individual one-minute measurement intervals and the mean count rate over the total (20-minute) measurement period.
- Divide the sum obtained above by the mean count rate over the 20-minute period. The result is the Chi-Square value for the situation tested.

Thus, the Chi-Square value for a given situation can be calculated according to the formula:

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Xi - \bar{X})^2}{\bar{X}}$$

(c) If 8.91 • ?² • 32.85, the observations are reproducible and the counter is performing well.

(d) If ?² < 8.91 or ?² > 32.85, repeat the Chi-Square test. If the Chi-Square results obtained are repeatedly outside these bounds remove the counter from service until it has been repaired.

Appendix B: A method to determine correction factors to compensate for the absorption of radon progeny on sample filters (Reference 2)

To compensate for errors due to the absorption of alpha particles by glass-fibre or cellulose-ester filters, an appropriate correction factor must be applied during the associated calculations of radon-progeny concentrations. To determine this correction factor:

(a) Collect a sample of radon progeny; allow the sample to decay for at least 40 minutes, but not more than 90 minutes.

(b) Measure the alpha activity in CPM from the face of the sample filter; record this reading as *A*. Note the time of day.

(c) Measure the alpha activity in CPM from the back of the sample filter and record this reading as *B*. Note the time of day.

(d) With a duplicate, unused filter placed over the face of the sample filter as an absorber, measure the alpha activity in CPM and record this reading as *C*. Note the time of day.

(e) Repeat step (b) to get a repeat reading *D* and note the time of day.

(f) If $D < 0.9A$, repeat step (c) to obtain another reading, *E*, and note the time of day.

(g) Use readings *A* and *D* to estimate a reading *F* at the time at which *C* was observed. Use readings *B* and *E* to estimate *G* at the time at which *C* was observed.

(h) Calculate the correction factor for absorption on the filter, *S*, using one of the following formulas:

$$S = \frac{B - C}{2A - B - C}$$

or

$$S = \frac{G - C}{2F - G - C}$$

For a cellulose-ester filter, *S* will probably be less than 0.02. For a glass-fibre filter, *S* may exceed 0.10.

Appendix C: Dependencies among radon-progeny sampling parameters, working level concentrations and the precision of alpha-counting results

The computed entries in the table below are calculated for t_k = 65 minutes, where t_k is the time interval, in minutes, between the end of sampling and the mid-point of the sample-counting interval. For other values of t_k, the data will be commensurately different.

Expected Concentration of Radon Progeny in Working Levels	Flow Rate in Litres per Minute	Sample Volume in Litres	Measurement Interval in Minutes for an Alpha-Counting Precision of:		
			±2%	±5%	±10%
0.05	2	10	150	30	6
	5	25	60	10	4
	10	50	30	6	2
0.10	2	10	80	20	4
	5	25	30	6	2
	10	50	20	4	1
0.20	2	10	40	6	2
	5	25	20	4	1
	10	50	10	2	1
0.40	2	10	20	4	1
	5	25	10	2	1
	10	50	4	1	1
0.80	2	10	10	2	1
	5	25	4	1	1
	10	50	2	1	1

Appendix C (cont.)

Note:

The chart in Appendix C illustrates the typical relationships among radon-progeny sampling parameters such as the concentrations of radon progeny in the air that has been sampled, the sample flow rates and volumes, the filter count times and precision of results. For example, the length of the counting intervals that are necessary to attain results of similar precision are inversely proportional to the volumes of air sampled and the concentrations of radon progeny in the air sampled. For samples of greater volume but similar concentration, shorter alpha-counting times will suffice to attain results of comparable precision. To shorten the necessary counting times for filters exposed to low concentrations of radon progeny, use pumps of greater capacity to sample larger volumes of air over the specified sampling interval. Or, when smaller samples of air with lower concentrations of radon progeny are collected, increase the precision of the results by adopting longer counting intervals. When concentrations of radon progeny are 0.05 WL or less, counting intervals that result in a precision of ±10% are adequate. Consult references 1 and 2 to determine appropriate flow rates for air sampling and effective sample-counting intervals.

Appendix D: Determining Kusnetz correction factors for use in calculations of radon-progeny concentrations

Delay time in minutes	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Kusnetz correction factor	150	148	146	144	142	140	138	136	134	132

Delay time in minutes	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Kusnetz correction factor	130	128	126	124	122	120	118	116	114	112

Delay time in minutes	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Kusnetz correction factor	110	108	106	104	102	100	98	96	94	92

Delay time in minutes	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Kusnetz correction factor	90	88.5	87	85.5	84	82.5	81	79.5	78	76.5

Delay time in minutes	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Kusnetz correction factor	75	73.5	72	70.5	69	67.5	66	64.5	63	61.5	60

Note: Kusnetz correction factors may be determined from the above tables or by calculations.

Using the tables above

For the given delay period (i.e., the time in minutes from the end of sampling to the middle of counting), select the Kusnetz correction factor that appears in the same column, directly under the delay time in minutes.

Appendix D (cont.)

For example:

- For a delay time of 60 minutes, the corresponding Kusnetz correction factor is 110.
- For a delay time of 68 minutes, the Kusnetz correction factor is 94.

To calculate Kusnetz correction factors

Calculate the appropriate Kusnetz correction factor by solving the applicable equation of the following set:

$K = 230 - 2t_k$ when $40 \bullet t_k \bullet 70$;

$K = 195 - 1.5t_k$ when $70 \bullet t_k \bullet 90$;

where t_k is the time interval, in minutes, between the end of sampling and the mid-point of the sample-counting interval.

Commission canadienne de sûreté nucléaire
Canadian Nuclear Safety Commission

PROJET DE GUIDE D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

Mesure des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines et les usines de concentration d'uranium

C-004 (Rév.1)

Publié aux fins de commentaires par la
Commission canadienne de sûreté nucléaire
Février 2001

Canada

GUIDE D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION

Mesure des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines et les usines de concentration d'uranium
C-004 (Rév. 1)

Publié pour commentaires par la
Commission canadienne de sûreté nucléaire
Février 2001

DOCUMENTS D'APPLICATION DE LA RÉGLEMENTATION DE LA CCSN

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) fonctionne à l'intérieur d'un cadre juridique constitué de la législation et, à l'appui, de documents d'application de la réglementation. Le terme « législation » renvoie à différents instruments légaux exécutoires : des lois, des règlements, des permis et des ordres. Quant aux documents d'application de la réglementation - qui incluent des politiques, des normes, des guides, des avis, des procédures et des documents d'information -, ils soutiennent et expliquent davantage ces instruments légaux. Les activités de réglementation de la CCSN reposent sur ces instruments et ces documents.

Voici les principales classes de documents de réglementation de la CCSN :

Politique d'application de la réglementation : document qui décrit la doctrine, les principes et les facteurs fondamentaux utilisés par la CCSN dans son programme d'application de la réglementation

Norme d'application de la réglementation : document qui peut servir à une évaluation de conformité et qui décrit les règles, les caractéristiques ou les pratiques que la CCSN accepte comme conformes aux exigences réglementaires.

Guide d'application de la réglementation : document qui sert de guide ou qui décrit des caractéristiques ou des pratiques recommandées par la CCSN et qui, d'après elle, permettent de respecter les exigences réglementaires ou d'améliorer l'efficacité administrative.

Avis d'application de la réglementation : document qui contient des conseils et des renseignements propres à un cas donné et qui sert à alerter les titulaires de permis et d'autres personnes à propos d'importantes questions de santé, de sûreté ou de conformité auxquelles il faut donner suite en temps utile.

Procédure d'application de la réglementation : document qui décrit les modalités de travail qu'utilise la CCSN pour administrer les exigences réglementaires dont elle est responsable.

Les politiques, normes, guides, avis et procédures d'application de la réglementation ne créent pas d'exigences exécutoires, mais étayent les exigences réglementaires des règlements, des permis et des autres instruments exécutoires. Cela dit, quand il y a lieu, un document d'application de la réglementation peut être transformé en instrument exécutoire par incorporation dans un règlement de la CCSN, un de ses permis ou un autre instrument exécutoire créé en vertu de la *Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires.*

Mesure des produits de filiation du radon en suspension dans l'air dans les mines et les usines de concentration d'uranium

C-004 (Rév.1)

Février 2001

À propos du document

Le guide décrit une méthode qui peut être employée par les titulaires de permis pour évaluer les concentrations de produits de filiation du radon dans les mines et les usines de traitement d'uranium au Canada.

Commentaires

La CCSN invite les personnes qui voudraient participer à l'élaboration du document à formuler des commentaires sur son contenu et sur son utilité possible. Veuillez nous les faire parvenir d'ici le 30 avril 2001, en y inscrivant le numéro de dossier 1-8-8-4. Faites parvenir vos commentaires et toutes demandes de renseignements à l'adresse donnée ci-dessous.

La CCSN examinera ces commentaires en vue de s'en servir pour améliorer l'ébauche et la finaliser.

À moins d'avis contraire, la CCSN déposera une copie des commentaires reçus à sa bibliothèque à Ottawa.

Pour se procurer le document

Le projet de guide C-004 (Rév. 1) de la réglementation est disponible en version électronique à partir du site web de la CCSN *www.suretenucleaire.gc.ca*. On peut également en commander un exemplaire, en anglais ou en français, par l'entremise de la personne-ressource suivante :

Adjointe aux opérations
Section des documents de la Commission
Commission canadienne de sûreté nucléaire
C.P. 1046, Succursale B
280, rue Slater
Ottawa (Ontario)
K1P 5S9

Téléphone : (613) 996-9505
Télécopieur : (613) 995-5086
Courriel : reg@cnsc-ccsn.gc.ca

Acronymes et abréviations

CCSN	Commission canadienne de sûreté nucléaire
CPM	coups par minute
Loi sur la SRN	*Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires*
WL	unités alpha

Table des matières

À propos du document i

Commentaires i

Pour se procurer le document i

Acronymes et abréviations ii

But 1

Portée 1

1 Contexte 1

2 Aperçu de la méthode 2

3 Choix de l'équipement 3

4 Préparation en vue de l'échantillonnage 4

5 Choix des endroits où effectuer des prélèvements 5

6 Collecte des échantillons 6

7 Comptage des échantillons et calcul des résultats 7

Glossaire 10

Références 11

Annexe A 13

Annexe B 15

Annexe C 16

Annexe D 18

But

Ce guide a pour but d'aider les utilisateurs à mesurer et à calculer les concentrations de produits de filiation du radon dans les mines et les usines de traitement d'uranium.

Portée

Le document décrit une méthode employée par les inspecteurs de la Commission Canadienne de la sûreté nucléaire (CCSN) pour évaluer les concentrations de produits de filiation du radon dans les mines et les usines de traitement d'uranium au Canada. Cette méthode, ou d'autres méthodes dont l'exactitude est comparable, peuvent être employées par les titulaires de permis des mines et usines de traitement d'uranium.

1 Contexte

Le radon 222 est un élément chimiquement inerte, sous-produit gazeux radioactif d'autres éléments radioactifs présents dans la nature. Le radon gazeux est dégagé dans l'atmosphère par suite de processus naturels ou de l'activité humaine. Il subit constamment des désintégrations radioactives spontanées. Quatre radionucléides solides à courte période, soit le polonium 218, le plomb 214, le bismuth 214 et le polonium 214, se forment au fur et à mesure que le radon 222 se désintègre pour donner du plomb 210. Ces quatre produits à courte période sont connus sous le nom de « produits de filiation du radon » et font l'objet du présent guide.

Pour protéger les travailleurs et se conformer aux exigences fédérales, les titulaires de permis d'exploitation de mines et d'usines de traitement d'uranium surveillent et enregistrent l'exposition de leurs travailleurs aux risques imputables au rayonnement, y compris les produits de filiation du radon. Les propriétaires des mines et usines de traitement d'uranium surveillent également les concentrations du radon et de ses produits de filiation aux fins de conception technique et de la planification relative aux lieux de travail.

Lorsque le radon gazeux se désintègre pour donner du plomb 210, il émet des rayonnements alpha, bêta et gamma. De toutes ces formes de rayonnement, ce sont les particules alpha qui posent le plus grand risque pour les travailleurs, car avec le temps, l'inhalation d'air contenant des concentrations élevées de produits de filiation du radon émettant des particules alpha peut augmenter le risque de cancer du poumon chez les humains.

Dans la nature, les concentrations du radon gazeux et de ses produits de filiation sont relativement faibles. Cependant, on peut trouver ces produits en concentrations particulièrement élevées dans certaines conditions, notamment celles associées aux activités minières et au traitement de l'uranium.

Bien que le radon et ses produits de filiation soient présents dans toutes les mines et usines de traitement d'uranium en exploitation, l'importance des dangers d'irradiation associés à leur présence dans une situation particulière dépend de divers facteurs propres à chacune de ces situations. Par exemple, mentionnons notamment les caractéristiques de la source, les conditions

géologiques et climatiques, les techniques et méthodes de produits employées, la conception de l'usine et ses caractéristiques mécaniques, les taux d'échange d'air, les processus de travail et les dispositions relatives à la protection du personnel.

Qu'il y ait ou non des mesures de contrôle spéciales en place, les concentrations du radon et de ses produits de filiation dans les lieux de travail des mines et usines de traitement d'uranium peuvent varier considérablement dans le temps et l'espace. Habituellement, les concentrations du radon et de ses produits de filiation dans les mines et usines de traitement d'uranium sont maintenues à des niveaux sécuritaires en veillant à ce que les lieux soient ventilés adéquatement. Pour ce faire, il est parfois nécessaire d'évacuer l'air qui contient des concentrations élevées de radon et de ses produits de filiation, ou d'admettre de l'air extérieur dont la concentration de rayonnement est inférieure ou se limite au rayonnement de fond.

2 Aperçu de la méthode

Les mines et usines de traitement d'uranium du Canada utilisent différentes méthodes pour déterminer les concentrations de produits de filiation du radon en suspension dans l'air (références 2, 5, 9, 10, 11 et 13). Les procédures de prélèvement d'échantillons, de comptage et de calculs des inspecteurs de la CCSN sont basés sur la méthode de Kusnetz modifiée.

Pour mesurer avec précision la concentration d'un produit de filiation du radon dans une atmosphère particulière, on doit d'abord prélever, soit de manière ponctuelle ou continue, un échantillon d'un volume d'air représentatif. Les prélèvements ponctuels sont généralement prélevés sur des intervalles de temps courts et distincts de quelques minutes. Dans le cas des prélèvements continus, les échantillons sont généralement prélevés à des intervalles de temps beaucoup plus longs, comme des heures ou des jours.

La démarche pour la mesure des prélèvements décrite dans le présent guide comprend :

- le filtrage d'un volume d'air représentatif en vue de collecter des échantillons de produits de filiation du radon,
- la mesure des émissions alpha produites lors de la désintégration radioactive des produits de filiation prélevés, et
- l'utilisation d'observations, de données mesurées et connues ainsi que de formules reconnues, pour évaluer la concentration atmosphérique de produits de filiation du radon au moment du prélèvement.

Initialement, les échantillons de produits de filiation du radon en suspension dans l'air sont recueillis au moyen d'une pompe à échantillonnage d'air portative qui aspire l'air à travers un filtre à faible porosité. Les produits de filiation du radon qui sont présents dans l'air se fixent à l'admission du filtre employé. Ces produits de filiation se désintègrent par la suite en émettant des particules alpha et d'autres formes de rayonnement. Pendant la désintégration, les émissions de

particules alpha sont détectées et comptées à l'aide d'un instrument (compteur alpha) conçu et fabriqué à cette fin.

Les résultats du comptage, ainsi que d'autres données et observations pertinentes, sont alors utilisés pour estimer la concentration, en unités alpha (WL), des produits de filiation du radon en suspension dans l'air présents à l'origine dans les échantillons d'air. L'unité alpha est définie comme étant « la concentration, dans 1 m^3 d'air, des produits de filiation du radon ayant une énergie potentielle de 2,08 X 10^{-5} J». (CCSN *Règlement sur la radioprotection*, alinéa 1(1)). La formule pour estimer la concentration en unités alpha des produits de filiation de radon est décrite à l'alinéa 7(e) du présent guide.

La concentration des produits de filiation du radon, exprimée en unités alpha, est calculée à l'aide d'une formule qui établit une relation mathématique entre les désintégrations alpha par unité alpha et l'intervalle entre la fin de l'échantillonnage et le milieu du comptage alpha; le volume des échantillons d'air; l'activité alpha des produits de filiation du radon recueillis et résultants; l'efficacité et le rayonnement radioactif de fond du compteur alpha et; les caractéristiques d'absorption du filtre utilisé pour l'échantillonnage.

3 Choix de l'équipement

Les équipements et les accessoires employés habituellement pour déterminer les concentrations de produits de filiation du radon en suivant la méthode décrite à la partie 2 du présent guide comprennent :

- une pompe à échantillonnage d'air portative, à piles et à débit constant, dont la plage de mesure est entre 0,001 et 5 L/min
- des tuyaux souples et des raccords de 0,25 po de diamètre intérieur à utiliser avec la pompe
- des filtres en ester cellulosique ou en fibres de verre dont la porosité est de 0,8 micron et dont le diamètre est de 25 mm
- des porte-filtres ouverts utilisables avec la pompe, les lignes et les filtres choisis
- un débitmètre à bulle de gaz, ou un débitmètre dont la précision est d'au moins ±5 %
- un compteur alpha constitué d'un détecteur de rayonnement et des composants électroniques connexes
- une source d'étalonnage d'américium 241 certifiée, d'une précision d'au moins ±1 % et installée sur un disque d'acier inoxydable dont l'aire est égale à celle du papier filtre qui sera employé pour l'échantillonnage
- un dispositif de chronométrage précis, tel qu'un chronomètre ou une montre-bracelet numérique

- des pinces fines
- une calculatrice à piles
- des accessoires pour l'enregistrement, comme un registre ou un livre d'inscription, des crayons et des plumes

4 Préparation en vue de l'échantillonnage

En vue de se préparer à la collecte et à l'analyse des échantillons, procédez aux étapes suivantes :

(a) Réunir les équipements et les accessoires qui figurent dans la liste de la partie 3 du présent guide.

(b) Effectuer les vérifications suivantes sur la pompe à échantillonnage :

- Vérifier les piles de la pompe afin de s'assurer qu'elles sont chargées.
- À l'aide du débitmètre ou du débitmètre à bulle de gaz, mesurer le débit d'air admis dans le montage (pompe à échantillonnage, tuyaux et porte-filtre contenant un filtre non exposé) qui sera utilisé pour prélever les échantillons de produits de filiation du radon. Suivre les instructions du fabricant fournies pour le débitmètre, le débitmètre à bulle de gaz et la pompe à échantillonnage d'air. Noter la lecture enregistrée sur l'indicateur du débit de la pompe à échantillonnage de l'air. Si le débit mesuré par le débitmètre ou le débitmètre à bulle de gaz diffère de la lecture sur la pompe à échantillonnage d'air, calibrer de nouveau la pompe suivant les directives du fabricant. Noter le numéro de l'équipement ou d'autres caractéristiques de la pompe à échantillonnage d'air, la date et les renseignements détaillés sur son étalonnage, ainsi que le débit mesuré en litres par minute, soit F.

(c) Procéder aux vérifications suivantes pour le compteur alpha, immédiatement avant et après l'utilisation quotidienne :

- Effectuer les vérifications du compteur alpha recommandées par le fabricant. Vérifier si les piles fonctionnent bien.
- Déterminer le rayonnement de fond du compteur alpha en mesurant l'activité alpha d'un filtre non exposé. Si l'activité mesurée dépasse 5 coups par minute (CPM), cesser d'utiliser l'équipement jusqu'à ce qu'il ait été nettoyé ou réparé. Enregistrer le taux de comptage imputable au rayonnement de fond.
- Déterminer l'efficacité du compteur alpha. Pour ce faire, utiliser d'abord le compteur pour déterminer l'activité alpha d'une source d'américium 241 qui est étalonnée au moins tous les douze mois en la comparant à celle d'un compteur de laboratoire. (Lorsque vous manipulez la source d'américium, ne touchez pas la face radioactive). Diviser ensuite l'activité alpha mesurée de la source étalonné (en CPM) par l'activité

alpha réelle de la source du compteur (en désintégrations par minute) afin d'obtenir un facteur d'efficacité pour le compteur.

- Si le facteur d'efficacité du compteur, tel que calculé précédemment, se situe entre 0,35 et 0,50, il est acceptable sur le plan du rendement. Si le facteur d'efficacité du compteur se situe en dehors de ces limites, cesser d'utiliser le compteur jusqu'à ce qu'il ait été réparé correctement.
- Pour déterminer si le compteur alpha fonctionne de façon consistante, effectuer un test du chi carré pour un ensemble de 20 mesures successives, suivant la méthode décrite à l'annexe A du présent guide. Comparer la variabilité entre les 20 mesures successives à la variabilité à prévoir comme caractéristique de la désintégration radioactive. Si le compteur échoue à répétition le test du chi carré, en cesser l'utilisation jusqu'à ce qu'il ait été réparé correctement.
- Lors des mesures d'échantillons de produits de filiation du radon à concentration élevée ou des échantillons de produits de filiation du radon qui ont été prélevés dans des milieux poussiéreux, vérifier le rayonnement de fond du compteur alpha plus fréquemment afin de déterminer s'il se contamine.

5 Choix des endroits où effectuer des prélèvements

Choisir les endroits pour le prélèvement d'échantillons d'air qui reflètent adéquatement les conditions à évaluer. Éviter les endroits non représentatifs ou les zones dont les conditions ne favorisent pas l'échantillonnage, tel que les zones de turbulence - les sorties de conduites, les emboîtures ou les intersections des conduites de ventilation, les portes ou fenêtres.

Lorsqu'il s'agit de collecter des échantillons de produits de filiation du radon en vue d'estimer ou de confirmer les doses de rayonnement reçues par les travailleurs, effectuer le prélèvement de ces échantillons dans les atmosphères réelles respirées par les travailleurs en cause. Lorsque cela est possible, des échantillons devraient être prélevés aux postes de travail des employés pendant une période représentative. Ou bien, si les concentrations de produits de filiation du radon en suspension dans l'air sont semblables dans une grande zone, il peut être suffisant de collecter des échantillons représentatifs en se déplaçant dans la zone, ou de procéder à des prélèvements ponctuels à des endroits stratégiques à l'intérieur de cette zone. Cette dernière démarche peut être particulièrement appropriée pour les usines de traitement d'uranium, pour les voies d'accès ou endroits semblables dans les mines.

Les échantillons prélevés pour aider la planification, l'élaboration et l'évaluation des travaux d'ingénierie et des procédés de production doivent être représentatifs des conditions qu'ils ont pour but d'évaluer. Par conséquent, ces échantillons doivent être prélevés à des endroits et à des moments appropriés. Par exemple, pour déterminer l'impact des modifications aux systèmes de ventilation des mines ou des immeubles, ou pour préparer l'installation de ce genre de système, il

peut être nécessaire de collecter plusieurs échantillons d'air à des endroits différents, avant, après ou pendant les modifications.

6 Collecte des échantillons

(a) Prendre note du débit déterminé précédemment, F, de la pompe à échantillonnage d'air, en litres par minute, ainsi que le facteur d'efficacité déterminé précédemment, E, et le rayonnement de fond déterminé précédemment (en CPM), du compteur qui sera utilisé pour détecter et enregistrer les émissions alpha.

Réunir l'équipement d'échantillonnage en le plaçant de manière à ce qu'il soit prêt à être utilisé. Installer un filtre non exposé dans le porte-filtre en le tenant par le bord sans en toucher aucune des faces. Mettre bien en place le porte-filtre à l'admission de la pompe à échantillonnage d'air.

(b) Indiquer l'endroit où est effectué l'échantillonnage, la date et le numéro d'identification du porte-filtre qui contient le papier filtre qui sera utilisé pour prélever l'échantillon.

(c) Si l'on prévoit que l'échantillonnage sera effectué en présence d'une quantité importante de particules en suspension dans l'air ou d'humidité, on doit s'assurer que l'entrée du porte-filtre est inclinée légèrement vers le bas en vue de l'échantillonnage. Il faut le maintenir dans cette position pendant l'échantillonnage pour éviter que la poussière ou que l'humidité ne se déposent à l'entrée de l'instrument sur le filtre, de manière à ne pas le bloquer ou l'endommager.

(d) Allumer la pompe à échantillonnage et le dispositif de chronométrage. Indiquer l'heure du début de l'échantillonnage. Essayer de prélever les échantillons d'air pendant un intervalle minuté d'exactement 5 minutes. Si vous faites fonctionner la pompe à échantillonnage d'air pendant plus de 5 minutes et 3 secondes, prolonger la durée du prélèvement des échantillons et la durée du fonctionnement de la pompe jusqu'à 6 minutes. Observer le débit, F, durant l'échantillonnage et cesser l'échantillonnage de l'air si le débit de la pompe diminue de 20 % ou plus. Vérifier périodiquement l'équipement d'échantillonnage de façon à s'assurer que le filtre ne soit ni bloqué ni obstrué, et que les tuyaux de la pompe demeurent bien reliés et libres de toute obstruction. Prendre note de l'heure au moment où l'échantillonnage de l'air est terminé. Indiquer la durée réelle de l'intervalle d'échantillonnage en minutes (t_s).

(e) Une fois que le prélèvement des échantillons de produits de filiation en suspension dans l'air est terminé, fermer la pompe et détacher le porte-filtre qui contient le filtre exposé. Ranger avec précaution l'assemblage du filtre exposé dans un conteneur de protection. Ne pas toucher ou remuer la face du filtre exposé pendant la manipulation. Si les porte-filtres qui contiennent des filtres exposés doivent être rangés dans un même conteneur avec les porte-filtres non exposés, ranger ces derniers dans le boîtier de transport en plaçant la face d'admission vers le haut. Après l'échantillonnage, remettre

l'assemblage du porte-filtre dans le boîtier de transport en plaçant la face exposée (admission) vers le bas.

(f) Répéter les étapes (a) à (f) pour prélever d'autres échantillons.

7 Comptage des échantillons et calcul des résultats

Pour déterminer les concentrations de produits de filiation du radon présents dans les échantillons d'air, compter les émissions alpha des filtres exposés et calculer les résultats, en suivant les étapes que voici :

(a) Transférer le filtre exposé de son porte-filtre vers le porte-filtre fixe ou mobile du compteur alpha. Tenir le filtre par les bords, en utilisant des pinces. Veiller à ce que la surface exposée du filtre se trouve face au côté « scintillation » du compteur, et que le tube photomultiplicateur du compteur ne soit pas exposé à trop de lumière.

(b) Débuter et effectuer le comptage alpha du filtre exposé à l'intérieur de limites de temps bien définies. Commencer le comptage pas plus de 40 minutes après la fin de l'échantillonnage, et veiller à ce que le point milieu de l'intervalle de comptage choisi soit atteint pas plus de 90 minutes après le prélèvement de l'échantillon.

Déterminer une durée appropriée pour l'intervalle de comptage. L'intervalle de comptage est le temps pendant lequel les émissions alpha en provenance du filtre exposé seront mesurées.

La durée de l'intervalle de comptage est habituellement de 5 minutes, toutefois le choix d'un intervalle de temps plus approprié peut nécessité de devoir prendre en considération certains aspects propres au cas qui nous occupe. Ces considérations peuvent comprendre notamment la concentration probable des produits de filiation du radon dans l'air échantillonné, le volume d'air échantillonné, et la précision des résultats du comptage souhaitée. Pour choisir un intervalle de comptage approprié, consulter l'annexe C, intitulée « Dépendances entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, les concentrations d'unités alpha et la précision des résultats du comptage alpha », qui illustre les rapports clés.

Faire fonctionner le compteur en suivant les instructions du fabricant. Observer et prendre note de l'heure au début et à la fin de l'intervalle du comptage alpha.

(c) Observer et prendre en note l'intervalle de temps du comptage alpha en minutes (t_c) et le nombre net de coups (qui correspond au nombre total de coups moins le nombre de coups imputable au rayonnement de fond de l'instrument) obtenu pendant cet intervalle, soit C. Calculer le temps qui s'est écoulé entre la fin de l'échantillonnage d'air et le point milieu de l'intervalle de comptage alpha sur le filtre actif, et l'enregistrer comme étant la valeur de t_k.

(d) Utiliser l'annexe D ou d'autres références pour déterminer le facteur de Kusnetz, K, qui correspond à t_k, ou calculer K à l'aide de l'équation suivante :

$$K = 230 - 2t_k \text{ lorsque } 40 \leq t_k \leq 70$$

ou

$$K = 195 - 1{,}5t_k \text{ lorsque } 70 \leq t_k \leq 90$$

(e) Calculer la concentration de produits de filiation du radon en suspension dans l'air au moment de la collecte des échantillons à l'aide de l'équation suivante:

$$WL = \frac{C(1+S)}{Ft_s t_c KE}$$

où

- WL est la concentration d'unités alpha;
- C est le nombre total de coups enregistrés par le compteur alpha pendant l'intervalle de mesure de t_c minutes, moins le nombre de coups imputables aux particules alpha du rayonnement de fond pendant l'intervalle t_k;
- S est le facteur de correction, selon l'annexe B, qui est nécessaire pour compenser l'absorption des produits de filiation du radon sur un filtre d'échantillonnage;
- F est le débit d'air lors de l'échantillonnage en litres par minute;
- t_c est l'intervalle, en minutes, du temps de comptage des émission alpha de l'échantillon;
- t_s est l'intervalle d'échantillonnage de l'air en minutes;
- K est le facteur de Kusnetz, en désintégrations par minute par litre d'air par unité alpha;
- E est le facteur d'efficacité du compteur alpha.

Glossaire

compteur alpha	instrument conçu et fabriqué pour détecter et compter les émissions de particules alpha
distribution binomiale	distribution de la fréquence du nombre possible de résultats probants pour un nombre donné d'essais ayant la même probabilité de succès
test du chi carré	vérification du fonctionnement de l'équipement de comptage, décrite à l'annexe A
méthode de Kusnetz modifiée	une méthode pour déterminer et exprimer la concentration atmosphérique de la filiation de radon en énergie alpha latent; requiert l'utilisation d'une échelle de comptage électronique pour mesurer l'émission de particules alpha.
distribution de Poisson	distribution de la fréquence qui donne la probabilité que des événements se produisent pendant un intervalle de temps donné, et ainsi nommée en souvenir du mathématicien français, S.D. Poisson
produits de filiation du radon	aux fins du présent guide, ce sont quatre radionucléides solides à courte période, soit le polonium 218, le plomb 214, le bismuth 214 et le polonium 214, qui se forment l'un après l'autre lors de la désintégration du radon 222 en plomb 210
unités alpha (WL)	Concentration, dans 1 m^3 d'air, des produits de filiation du radon ayant une énergie potentielle de 2,08 X 10^{-5} J.

Références

1. Beckman, R.T. « Calibration Procedures for Radon and Radon Daughter Measurement Equipment » *U.S. Department of the Interior, Informational Report 1005* Washington, DC 1975.

2. American National Standards Institute Inc. « Radiation Protection in Uranium Mines » N13.8, New York, 1973.

3. « Code of Practice on Radiation Protection in the Mining and Milling of Uranium Ores » Commonwealth Department of Health, Canberra, Australia (1975).

4. Knoll, Glenn F. « Radiation Detection and Measurement » New York : John Wiley and Sons,1989.

5. Kusnetz, H.L. « Radon Daughters in Mine Atmospheres - A Field Method for Determining Concentrations » Industrial Hygiene Quarterly, mars 1956, Alexandria, VA, p. 85.

6. National Council on Radiation Protection and Measurements, « Measurement of Radon and Radon Daughters in Air » NCRP Report No. 97, Bethesda, MD, 15 novembre 1988.

7. Nuclear Energy Agency Organization for Economic Co-operation and Development. « Metrology and Monitoring of Radon, Thoron and their Daughter Products » Paris (1985).

8. International Atomic Energy Agency. « Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores » International Atomic Energy Agency Safety Series No. 95, Vienne, Autriche (1989).

9. Rolle, R. « Improved Radon Daughter Monitoring Procedure » American Industrial Hygiene Association Journal, mars/avril 1969, Alexandria, VA, American Industrial Hygiene Association, p. 153.

10. Rolle, R. « Rapid Working Level Monitoring » Health Physics, Vol. 22, mars 1972, New York : Pergamon Press, p. 233.

11. Rolle, R. « Determination of Radon Daughters on Filters by Simple Liquid Scintillation Technique » American Industrial Hygiene Association Journal, Novembre/Décembre1970, Alexandria, VA, American Industrial Hygiene Association, p. 718.

12. Sills, Jed M. « How to Use the Chi-Square Test to Evaluate Radioactive Counting Data » HPS Newsletter, août 1998, McLean, VA, Health Physics Society.

13. Thomas, J.W. « Modification of the Tsivoglou Method for Radon Daughters in Air » Health Physics, Vol. 19, Novembre 1970, New York, Pergamon Press, p. 691.

14. International Atomic Energy Agency, « Manual on Radiological Safety in Uranium and Thorium Mines and Mills » International Atomic Energy Agency Safety Series, No 43, Vienne, Autriche, 1976.

15. Rock, R.L., R.W. Dalzell et E.J. Harris. « Controlling Employee Exposure to Alpha Radiationin Underground Uranium Mines » Washington, DC, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, Vol. 2, 1971.

16. Loysen, P. « Errors in Measurement of Working Level » Health Physics, Vol. 16, mai 1969, New York : Pergamon Press, p. 629.

17. McGeath, J.D. « How to Use Statistics » San Francisco : Canfield Press, 1975.

Annexe A : Utilisation du test du chi carré pour évaluer le rendement des compteurs alpha

Contexte

Dans les sources étalons à longue période qui sont habituellement employées pour vérifier si les compteurs fonctionnent correctement, le nombre de transformations qui surviennent est plutôt faible si on le compare au nombre d'atomes radioactifs qui sont présents dans la source étalon.

Statistiquement, lorsque la probabilité qu'un événement survienne, comme la désintégration radioactive par émission alpha d'une norme étalon à longue période qui est utilisée pour vérifier le fonctionnement d'un compteur alpha, est très faible (de beaucoup inférieure à 1), la distribution binomiale s'approche de la distribution de Poisson.

En effectuant une série de comptages du nombre d'émissions alpha en provenance d'une source étalon radioactive, on peut comparer les écarts des résultats de comptage à ceux prévus pour les situations où la probabilité se comporte de manière semblable à celle qui serait prévue par une distribution de Poisson.

Dans l'application décrite ci-dessous, le test du chi carré est une méthode qui compare les écarts des « comptages successifs » obtenus par un compteur alpha aux écarts obtenus dans les comptages alpha prévus par une distribution de Poisson. Le but de la comparaison est d'identifier toute lacune dans les écarts respectifs qui ne serait pas compatible avec la nature aléatoire de la désintégration radioactive. Si les résultats obtenus avec un compteur pour une série de comptages et pour un échantillon radioactif donné (dans des conditions contrôlées) sont trop uniformes (ne dénotent que de faibles écarts), alors il est probable que le compteur ne fonctionne pas adéquatement. Il en va de même si les écarts observés dans les résultats sont excessifs.

Méthode

Pour vérifier le rendement d'un compteur électronique à l'aide du test du chi carré, on doit :

(a) Procéder, pour le compteur en cause, au comptage de l'activité alpha pour une source d'américium 241 dont le taux de désintégration est connu. Effectuer 20 comptages distincts, d'une durée de une minute chacun. Observer et prendre note le nombre total de coups pour chacune des 20 mesures.

(b) Pour calculer le chi carré dans les cas précités, il suffit :

- d'additionner les carrés des différences entre les taux de comptage observés pour les différents intervalles de une minute et le taux de comptage moyen pour la durée totale de la période de mesure (20 minutes).
- de diviser la somme obtenue par le taux de comptage moyen pour la période de

20 minutes. Le résultat est la valeur du chi carré pour cette situation donnée.

Donc, la valeur du chi carré pour une situation donnée peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Xi - \bar{X})^2}{\bar{X}}$$

(c) Si 8,91 ≤ ?² ≤ 32,85, les observations peuvent être reproduites et le compteur fonctionne bien.

(d) Si ?² < 8,91 ou ?² > 32,85, répéter le test du chi carré. Si les résultats obtenus pour le test du chi carré se situent toujours hors ce ces limites, cesser d'utiliser l'instrument jusqu'à ce qu'il ait été réparé.

Annexe B : Méthode servant à déterminer les facteurs de correction pour compenser l'absorption des produits de filiation du radon sur les filtres (Référence 2)

Pour compenser les erreurs dues à l'absorption de particules alpha par les filtres en fibre de verre ou les filtres en ester cellulosique, on doit appliquer un facteur de correction approprié aux calculs de la concentration des produits de filiation du radon. Pour déterminer ce facteur de correction, on doit :

(a) Prélever un échantillon de produits de filiation du radon, laisser l'échantillon se désintégrer pendant au moins 40 minutes, mais pas plus de 90 minutes.

(b) Mesurer l'activité alpha (en coups par minute) sur la face du filtre ayant servi au prélèvement de l'échantillon; noter cette lecture, qui est la valeur *A*. Prendre en note l'heure qu'il est.

(c) Mesurer l'activité alpha (en coups par minute) à l'arrière du filtre ayant servi au prélèvement de l'échantillon; noter cette lecture, qui est la valeur *B*. Prendre en note l'heure qu'il est.

(d) Au moyen d'un filtre identique non utilisé placé sur la face du filtre ayant servi au prélèvement de l'échantillon à titre d'absorbeur, mesurer l'activité alpha (en coups par minute) et noter cette lecture, qui est la valeur *C*. Prendre en note l'heure qu'il est.

(e) Reprendre l'étape (b) pour obtenir une lecture *D* et prendre en note l'heure qu'il est.

(f) Si D < 0,9A, répéter l'étape (c) pour obtenir une autre lecture, qui sera la valeur *E*, et prendre en note l'heure qu'il est.

(g) Utiliser les lectures *A* et *D* pour estimer la lecture F au moment où *C* a été observé. Utiliser les lectures *B* et *E* pour estimer *G* au moment où *C* a été observé.

(h) Calculer le facteur de correction pour l'absorption sur le filtre, *S*, en utilisant l'une des formules suivantes :

$$S=\frac{B-C}{2A+B-C}$$

ou

$$S=\frac{G-C}{2F+G-C}$$

Pour un filtre en ester cellulosique, la valeur de *S* sera probablement inférieure à 0,02. Pour un filtre en fibre de verre, la valeur de *S* pourrait être supérieure à 0,10.

Annexe C : Dépendances entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, les concentrations d'unités alpha et la précision des résultats du comptage alpha

Les données présentées dans le tableau ci-après sont calculées pour t_k = 65 minutes où t_k est l'intervalle de temps, en minutes, entre la fin de l'échantillonnage et le point milieu de l'intervalle de comptage de l'échantillon. Pour d'autres valeurs de t_k, les données seront différentes.

Concentration prévue des produits de filiation du radon dans les unités alpha	**Débit en litres par minute**	**Volume d'air échantillonné, en litres**	**Intervalle entre les mesures (en minutes) pour une précision du comptage alpha de :**		
			±2 %	**±5 %**	**±10 %**
0,05	2	10	150	30	6
	5	25	60	10	4
	10	50	30	6	2
0,10	2	10	80	20	4
	5	25	30	6	2
	10	50	20	4	1
0,20	2	10	40	6	2
	5	25	20	4	1
	10	50	10	2	1
0,40	2	10	20	4	1
	5	25	10	2	1
	10	50	4	1	1
0,80	2	10	10	2	1
	5	25	4	1	1
	10	50	2	1	1

Annexe C (suite)

Nota :

Le tableau de l'annexe C illustre la relation type entre les paramètres d'échantillonnage des produits de filiation du radon, tel que les concentrations des produits dans l'air qui a été échantillonné, les débits et volumes d'échantillonnage, la durée de l'intervalle de comptage pour les filtres et la précision des résultats. Par exemple, la durée de l'intervalle de comptage nécessaire pour obtenir des résultats de précision semblable est inversement proportionnelle aux volumes d'air échantillonnés et aux concentrations des produits de filiation du radon dans l'échantillon d'air. Pour des échantillons plus volumineux mais de concentration identique, un intervalle de comptage alpha plus court suffira pour obtenir des résultats de précision semblable. Pour raccourcir les intervalles de comptage nécessaire dans le cas des filtres exposés à de faibles concentrations de produits de filiation du radon, utiliser des pompes de plus grande capacité afin d'échantillonner de plus grands volumes d'air pour l'intervalle d'échantillonnage précisé. Ou encore, lorsque des échantillons d'air plus petits dans lesquels la concentration des produits de filiation du radon est plus faible sont prélevés, on peut accroître la précision des résultats en adoptant des intervalles de comptage plus longs. Lorsque les concentrations des produits de filiation du radon sont de 0,05 WL ou moins, des intervalles de comptage qui donnent une précision de ±10 % conviennent. Consulter les références 1 et 2 pour déterminer les débits appropriés pour l'échantillonnage d'air et les intervalles de comptage d'échantillons efficaces.

Annexe D : Détermination des facteurs de correction de Kusnetz à employer dans les calculs des concentrations des produits de filiation du radon

Temps de retard en minutes	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Facteur de correction Kusnetz	150	148	146	144	142	140	138	136	134	132

Temps de retard en minutes	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Facteur de correction de Kusnetz	130	128	126	124	122	120	118	116	114	112

Temps de retard en minutes	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Facteur de correction de Kusnetz	110	108	106	104	102	100	98	96	94	92

Temps de retard en minutes	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Facteur de correction de Kusnetz	90	88,5	87	85,5	84	82,5	81	79,5	78	76,5

Temps de retard en minutes	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Facteur de correction de Kusnetz	75	73,5	72	70,5	69	67,5	66	64,5	63	61,5	60

Nota : On peut déterminer les facteurs de correction de Kusnetz à l'aide des tableaux précédents ou par des calculs.

Annexe D (suite)

Utilisation des tableaux

Pour une période donnée (temps, en minutes, qui s'écoule entre la fin de l'échantillonnage et le milieu du comptage), choisir le facteur de correction de Kusnetz qui figure dans la même colonne, directement sous le temps de retard en minutes.

Par exemple :

- Pour un temps de retard de 60 minutes, le facteur de correction de Kusnetz correspondant est de 110.
- Pour un temps de retard de 68 minutes, le facteur de correction de Kusnetz est de 94.

Calcul des facteurs de correction de Kusnetz

Calculer le facteur de correction de Kusnetz approprié en résolvant l'équation suivante qui convient :

$K = 230 - 2t_k$ lorsque $40 \leq t_k \leq 70$;
$K = 195 - 1{,}5t_k$ lorsque $70 \leq t_k \leq 90$;
où t_k est l'intervalle de temps, en minutes, entre la fin de l'échantillonnage et le point milieu de l'intervalle de comptage de l'échantillon.